

УДК 504.604.4

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОГРУЖЕННОГО БИОПЛАТО ДЛЯ ОЧИСТКИ МАЛЫХ РЕК

А. Н. Михеев¹, С. М. Маджд², Я. И. Писанко²

¹Институт клеточной биологии и генетической инженерии НАН Украины,
г. Киев, Украина

²Национальный авиационный университет, г. Киев, Украина

E-mail: yanakulynych45@gmail.com

Представлено впервые разработанное комплексное биоинженерное сооружение, в состав которого входит природное береговое и искусственное погруженное биоплато. Действие сооружения направлено на детоксикацию воды и донных отложений малых рек, за счёт растений гидрофитов и гидатофитов. Приведены результаты внедрения данной технологии на одном из малых водотоков г. Киева. Показано, что реализация предложенной биотехнологии обеспечивает положительный водоохранный эффект, так как в зоне расположения сооружения улучшается класс качества воды, повышается ее самоочищающаяся способность и снижается токсичность.

Ключевые слова: техногенно изменённая водная экосистема, биоинженерное сооружение, малая река, экологические показатели.

Введение. Повышение интенсивности внутриводоёмных процессов в техногенно измененных водных экосистемах (ТИВЭ) является актуальной и перспективной проблемой, которая требует изучения. В первую очередь, это касается малых рек, которые имеют техногенно-обусловленный характер

развития и влияют на экологическое состояние больших речных бассейнов – основных поверхностных источников водоснабжения. Применение экологических биотехнологий, в настоящее время, являются современным подходом к охране и восстановлению ТИВЭ [1, 2].

Техногенно-обусловленные водные экосистемы – это системы образование которых связано с влиянием производственных возвратных вод на водные объекты. Последствием влияния урбанизированных территорий на функционирование водоемов стало ухудшение их экологического состояния [3–7], и поэтому, сегодня очевидна необходимость изучения материальной кумуляции экотоксикантов антропогенного происхождения при проведении экологической оценки состояния ТИВЭ [8].

Одним из наглядных примеров ухудшения экологического состояния малых рек является р. Нивка, в которой соотношение в водной среде сточных вод к речным составляет – 2:1 [9]. В связи с этим р. Нивка, район влияние сбросных возвратных вод нескольких авиапредприятий, выбрана для реализации биотехнологии улучшения механизма биотической саморегуляции вод и восстановления процессов самоочищения [8].

Цель работы – разработка комплексного биоинженерного сооружения с использованием растений гидрофитов и гидатофитов для детоксикации вод малых рек, а также предотвращение их вторичного загрязнения, за счет очистки донных отложений.

Методика эксперимента. Малая р. Нивка протекает в пределах г. Киева и имеет техногенно-обусловленный характер [7] развития (31% урбанизированности территории бассейна). Ее можно квалифицировать как ТИВЭ, так как, в реке произошли структурно-функциональные изменения, как следствие качественного истощения вод (на исследуемом участке преобладает V класс качества вод). В реке прослеживается материальная кумуляция экотоксикантов техногенного происхождения. Следует отметить тот факт, что данная река не является объектом питьевого водоснабжения г. Киев, но в ее бассейне находится около 10 рыбопродуктивных прудов, поэтому необходимо обеспечить снижение концентрации загрязняющих веществ до ПДК.

Нами исследовалась малоизученная зона реки: от места сброса возвратных вод предприятий с эксплуатации и ремонта авиационной техники и до места впадения р. Нивка в основное устьевое русло р. Ирпень (приблизительно протяженность исследуемого участка составляет 10 км). Уровень динамики изменений структурно-функциональных особенностей развития ТИВЭ р. Нивка охарактеризован по результатам исследований за пятилетний период (собственные исследования, литературные данные).

Для определения причин качественного истощения вод были проанализированы такие экологические показатели и их параметры: вещественно-энергетический баланс; уровень материальной кумуляции экотоксикантов антропогенного происхождения в приповерхностном, придонном слоях воды, а также донных отложениях; гидрохимические

показатели качества воды; токсичность воды – биотест *Daphnia magna* S.; самоочищающаяся способность воды и т.д.

Для улучшения экологического состояния реки было разработано комплексное биоинженерное сооружение для очистки воды, которое обеспечивало бы очистку как водной среды, так и донных отложений [10]. Технологическая схема сооружения включает природное береговое биоплато и модифицированную конструкцию искусственного погруженного биоплато.

В качестве природного биоплато выступают заросли гидрофитов: камыша озерного (*Scirpus palustris* L.), тростника (*Phragmites australis* (Cav.) Trin) и рогоза узколистого (*Typha angustifolia* L.), которые являются аборигенными растениями прибрежной зоны реки. Они являются биологическим фильтром при очистке поверхностных вод, а также обеспечивают очистку и формирование качества гидроэкосистемы при поступлении сбросных вод в прибрежную часть.

Береговое биоплато имеет ограниченный радиус воздействия на водоем из-за особенностей расположения. Недостатком природных зарослей растений является их неравномерность роста вдоль берега, четкая локализация очистки загрязненного потока вдоль русла и отсутствие его равномерного рассеивания по поверхности зарослей. В таком биоплато очищается преимущественно поверхностный слой воды.

Спецификой предложенного погруженного биоплато является четкая направленность его действия на очистку придонного слоя воды и особенно

донных отложений, что усиливает функции берегового биоплато и подтверждает инновационность разработанной технологии.

Погруженное биоплато располагают в прибрежной зоне, на уровне 30 – 40 см над дном водоема. Составные блоки биоинженерной системы (размер 40•20•8) соединяют между собой механически, их количество рассчитывают в зависимости от площади водной поверхности и степени необходимой очистки. Важным условием есть покрытие 50% поверхности реки. Конструкция имеет отверстия, через которые прорастает корневая система и закрепляется в почве, при этом создаются условия аэрации практически всей корневой системы. Таким образом предложенная технология не требует дополнительного использования субстрата, что делает конструкцию экономически малозатратной. В качестве растительной составляющей используют аборигенные виды гидатофитов. Для исследуемой климатической зоны это преимущественно растения семейства Potamogetonaceae, которые устойчиво переносят низкие температуры и недостаток освещения, способны развивать длинную, мощную корневую систему и побеги, которые достигают поверхности водоема. Конструктивная особенность сооружения позволяет увеличить массу биотической компоненты и потоки её распределения в толще воды, обеспечивает иммобилизацию микроорганизмов деструкторов на поверхности корневой системы растений что положительно сказывается на процессах самоочищения разных горизонтов русла реки.

Конструктивные и биотические особенности предложенного сооружения позволили реализовать биотехнологию, направленную на интенсификацию внутриводоёмных процессов и улучшение способности к самоочищению ТИВЭ малых рек [11].

Традиционный контроль за эффективностью биотехнологических процессов в сооружении осуществляли по индивидуальным, суммарным и ингредиентным показателям при использовании нормативных методик [12, 13]. Контроль за интенсивностью внутриводоёмных процессов (механизм биотической саморегуляции) проводили с учетом методологии экологических показателей и их параметров – количественных индикаторов, которые позволили охарактеризовать динамику детоксикации вод от момента действия модифицированных (антропогенных) факторов до экологических последствий для водного объекта [13–16].

Результаты и их обсуждение. Целесообразность доочистки сточных вод от технологических процессов авиапредприятий для улучшения экологического состояния р. Нивка была показана [8]. Нами был отмечен факт наличия материальной кумуляции экотоксикантов в толще воды и донных отложениях (рис. 1). Концентрация нефтепродуктов в поверхностном слое воды составляет 0,9 мг/дм³, придонном – 1,9 мг/дм³, в донных отложениях соответственно наибольшая концентрация за счет кумуляции – 20 мг/дм³, что значительно превышает ПДК.

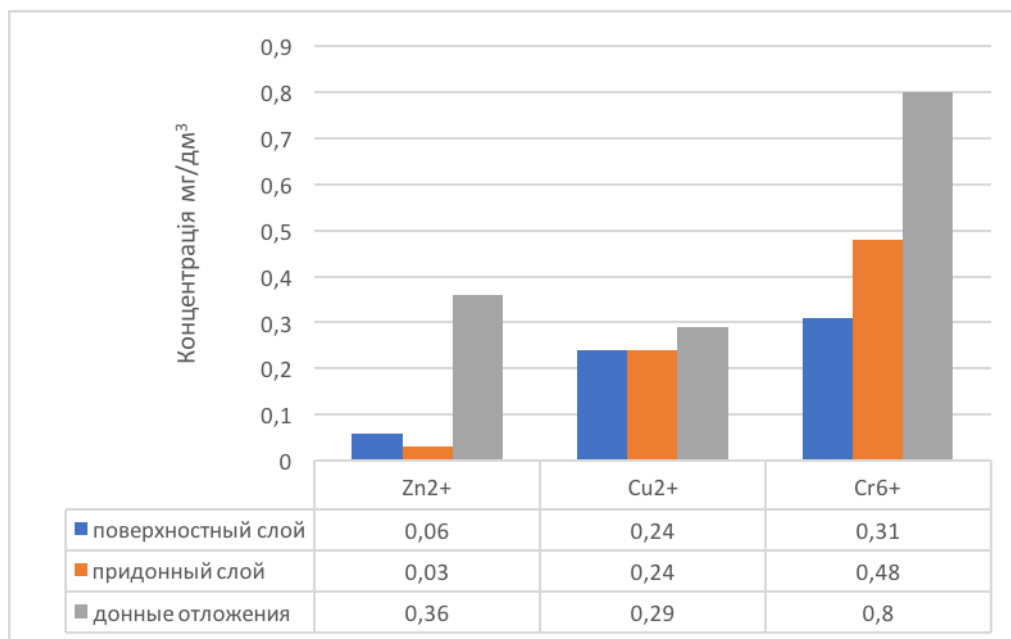


Рис. 1. Гидрохимические показатели содержания ионов (Cu^{2+} , Zn^{2+} , Cr^{6+}) в ТИВЭ р. Нивка (усреднённые данные).

Исходя из значительных превышений ПДК гидрохимических показателей нами была предложена новая, экономически мало затратная биотехнология, которая улучшает качественные характеристики ТИВЭ малых рек (рис. 2).

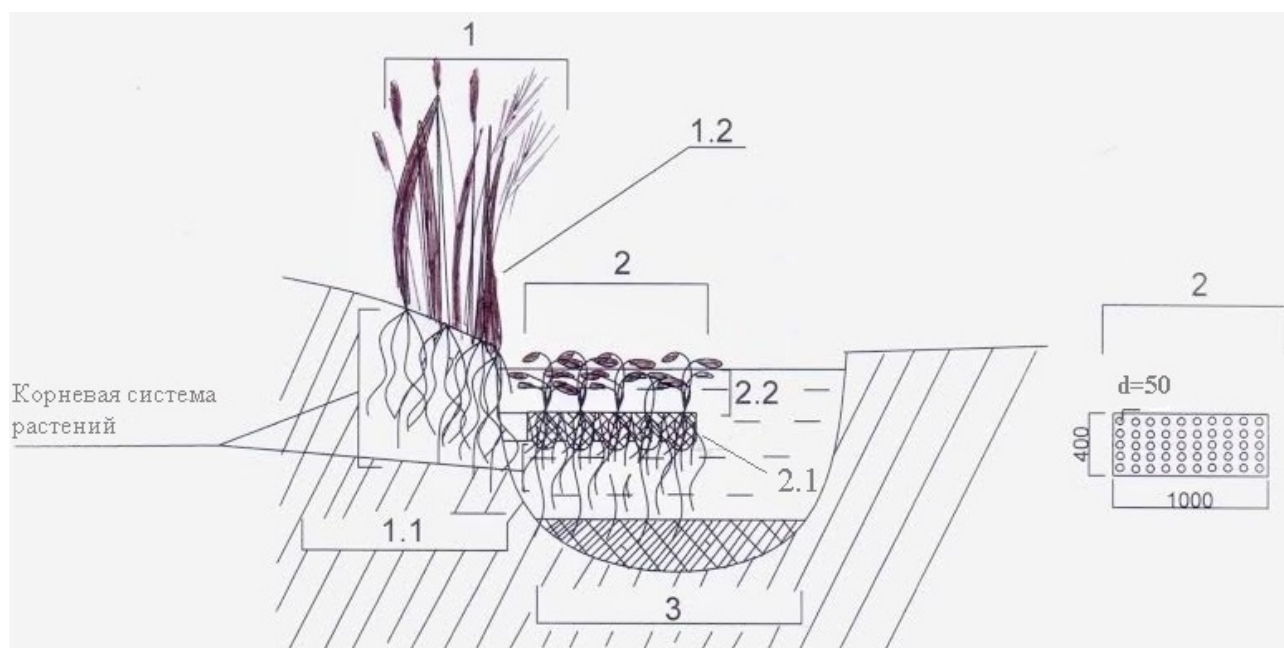


Рис. 2. Комплексная биоинженерная система для очистки малых рек.

Так, на рис. 2 представлена комплексная конструкция, которая состоит из:

- *берегового биоплато (1) (1.1 прибрежная зона, 1.2 растения гидрофиты);*
- *погруженного биоплато (2) (2.1 решетка из синтетического материала с патрубками для высаживания растений гидатофитов, 2.2 погружённые в толщу воды части растений);*
- *донные отложения (3).*

На рис. 3–4 представлены гидрохимические характеристики эффективности работы комплексной биоинженерной системы. Для построения диаграммы проводился мониторинг по трем зонам:

- I – сброс возвратных сточных вод;
- II – зона рассеивания возвратных вод в реке;
- III – после прохождения сооружения.

Рассчитывался индекс техногенного влияния на ТИВЭ, а также индекс загрязненности водоема.

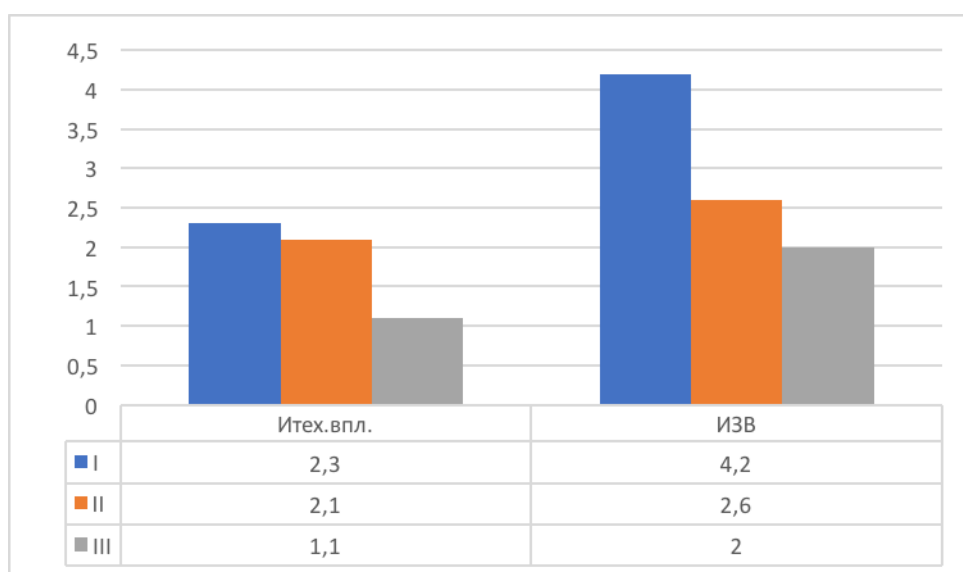


Рис. 3. Значение экологических показателей контроля по трём зонам мониторинга реки.

Анализ данных рис. 3. позволяет констатировать, что использование биотехнологических процессов в биоинженерной системе позволяет улучшить экологическую ситуацию в ТИВЭ р. Нивка за счёт детоксикации загрязнителей вод.

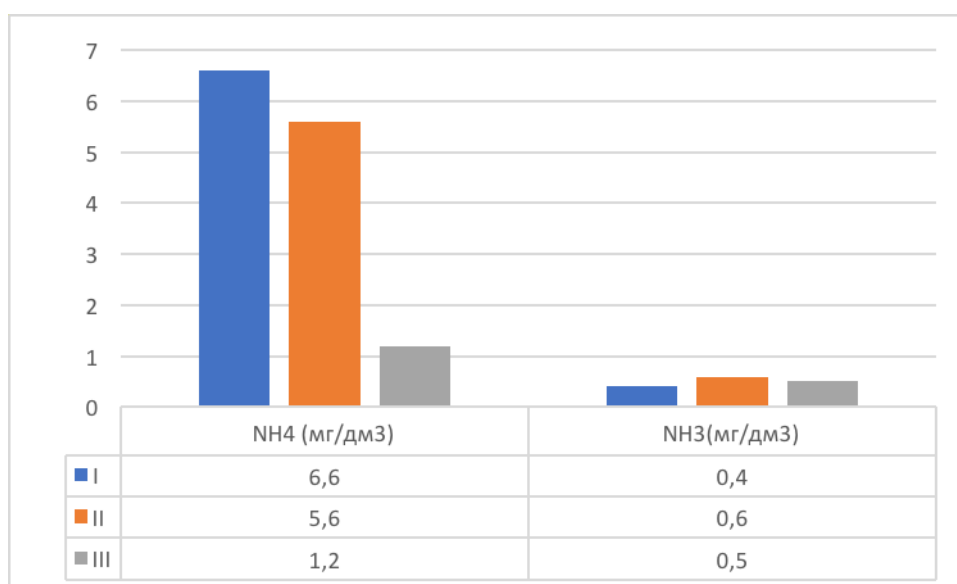


Рис. 4. Значение концентраций NH₃ и NH₄ по трём зонам мониторинга реки.

Фиксируется согласованность между уровнями снижения концентрации трудно окисляемых загрязнителей воды и ходом протекания реакции нитрификации (рис. 4). На 50% процентов эффективнее происходит очистка составляющих гидроэкосистемы от тяжелых металлов: Cu²⁺ 0,02→0,01мг/л, Zn²⁺ 0,02→0,01мг/л; нефтепродуктов 1,5→0,75 мг/л в воде и донных отложениях (таблица 1).

Таблица 1. Усредненные показатели эффективности применения биоинженерного системы за анализом донных отложений

Физико-химические показатели	Концентрация	
	до использования конструкции	после использования конструкции
Нефтепродукты, мг/л	19,8	16,5
Cu ²⁺ , мг/л	0,3	0,23
Zn ²⁺ , мг/л	0,86	0,67
Cr ⁶⁺ , мг/дм ³	0,086	0,071

Результаты, приведённые в таблице 1, свидетельствуют об эффективности использования разработанной и запатентованной авторами публикации конструкции. Характерным является также тот факт, что насыщенность воды растворенным кислородом увеличивается на 23% и находится в пределах, свойственных для IV класса качества воды. Такое изменение лимитирующего фактора развития водных экосистем свидетельствует о снижении токсичности действия экотоксикантов антропогенного происхождения, с острой токсичности на хроническую, что подтверждается биотестом (*Daphnia magna* S.).

Если подвести итог проведённой работы можно отметить, что получен водоохранный эффект – качество воды на исследуемом участке реки улучшилось (V класс – IV класс). Постоянное использование биотехнологии закрепит полученные положительные результаты относительно гомеостатичности развития ТИВЭ малой реки. Предложенное сооружение является универсальным для использования на малых и средних реках, так как его легко адаптировать под морфологические особенности каждого русла.

Выводы. Предложенное комплексное биоинженерное сооружение, которое состоит с природного берегового биоплато в комплексе с искусственным погруженным, является эффективным в детоксикации речной воды малых рек. Его части обеспечивает материально-функциональный баланс, а также интенсифицируют механизм биотической саморегуляции техногенно измененных гидросистем малых рек. Разработанное погруженное биоплато, с использованием растений гидатофитов, позволила достичь положительного эффекта очистки придонного слоя воды и донных отложений от соединений тяжелых металлов.

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ЗАНУРЕНОГО БІОПЛАТО ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ МАЛИХ РІЧОК

О. М. Міхєєв¹, С. М. Маджд², Я. І. Писанко²

¹Інститут клітинної біології та генетичної інженерії НАН України,
м. Київ, Україна

²Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

Представлена вперше розроблена комплексна біоінженерна споруда, що складається з природного берегового і штучного зануреного біоплато. Дія споруди направлено на детоксикацію води і донних відкладів малих річок, за рахунок рослин гідрофітів і гідатофітів. Наведено результати впровадження даної технології на одному з малих водотоків м. Києва. Показано, що реалізація запропонованої біотехнології забезпечує позитивний водоохоронний ефект, у

зв'язку з тим, що в зоні розміщення споруди покращується клас якості води, підвищується її самоочисна здатність та знижується токсичність.

Ключові слова: техногенно змінена водна екосистема, біоінженерна споруда, мала річка, екологічні показники.

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF ARTIFICIAL IMMERSSED CONSTRUCTED WETLAND FOR THE CLEANING OF SMALL RIVERS

O. M. Mixyeyev¹, S. M. Madzhd², Ya. I. Pysanko²

¹Institute of Cell Biology and Genetic Engineering NAS of Ukraine

²National Aviation University, Ukraine

For the first time, shown developed integrated bioengineering structure, consisting of natural coastal and artificial immersed constructed wetland, is presented in the article. The complex bioengineering construction was developed for detoxification of water and bottom sediments of small rivers, with the help of hydrophytes and gidatophytes plants. In the article represented the results of the development construction on the small river of Kyiv. It is shown that the implementation of the proposed biotechnology provides a positive water protection effect. The quality class of water improved in the area of the structure, its self-purification capacity became better and toxicity decreased.

Key words: technogenically-transformed aquatic ecosystem, bioengineering construction, small river, ecological indicators.

Список использованной литературы

- [1]. *Удод В. М.* Біотехнології (екологічні). – К.: КНУБА, 2010. – 60 с.
- [2]. *Михеев А. Н.* Экспериментальные основы нового метода ризофльтрационной очистки водных экосистем от цезия-137 / А. Н. Михеев, О. В. Лапань, С. М. Маджд, // Химия и технология воды. – 2017. – 3, №4. – С. 439–446.
- [3]. *Романенко В. Д., Крот Ю. Г., Киризі́й Т. Я. И др.* // Природні і штучні біоплато: фундаментальні та прикладні аспекти. – К: Наукова думка, 2012. – 109 с.
- [4]. *Коцарь Е. М., Диренко А. А.* Свойства высших водных растений с позиции их использования для очистки загрязнённых вод в инженерно-биологических сооружениях // V Міжнародна науково-практична конференція «Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення», 7–11 вересня, 2009 р., Алушта: Зб. наук. ст. у 2-х т. Т. 2 / УкрНДІЕП. – Х.: Райдер, 2009. - С. 312 – 315.
- [5]. *Рудько Г. І.* Землелогія. Еколого-ресурсна безпека Землі / Г. І. Рудько, О. М. Адаменко. – К.: Академпрес, 2009. – 512 с.
- [6]. *Зімко Р. В.* Малі річки – дослідження, охорона, відновлення / Р. В. Зімко, О. І. Мережко, Р. В. Бабко. – К.: Інститут екології, 2003. – 380 с.
- [7]. *Гриб Й. В.* Гідроекологія р. Нивка: сучасний стан та виходи із екологічних ризиків / Й. В. Гриб, Ю. М. Ситник, М. О. Борбат. // Рибогосподарська наука України. – 2010. – №2. – С. 79–88.

[8]. Міхєєв О. М. Розроблення нового методу ризофільтраційного очищення стічних вод від Cr (VI) / О. М. Міхєєв, О. В. Лапань, С. М. Маджд // Хімія і технологія води. – 2018. – №3 – С. 309–314.

[9]. Київ як екологічна система: природа – людина – виробництво – екологія / [В. В. Стецюк, С. П. Романчук, Ю. В. Щур та ін.]. – К.: Центр екологічної освіти та інформації, 2011. – 316 с

[10]. Пат. 117067 UA, МПК CO2F 3/32 (2006.01), E02B 15/00 (2006.01) Комплексна біоінженерна система для очищення водойм /О. М. Міхєєв, С. М. Маджд, Я. І. Кулинич, О. В. Лапань – № u 201700555; заяв. 20.01.2017; опубл. 12.06.2017, Бюл. № 11, 2017 р.

[11]. Роль речного притока растворенных химических веществ в антропогенной трансформации состояния водной среды устьевой области р. Волга / [А. М. Никаноров, В. А. Брызгалю, Л. С. Косменко та ін.]. // Вода: химия и экология. – 2010. – №7. – С. 6 – 12.

[12]. Гідрохімічний довідник. Поверхневі води. Методи аналізу / В. І. Осадчий, Б. Й. Набиванець, Н. М. Осадча, Ю. Б. Набиванець. – К.: Ніка-Центр, 2008. – 656 с.

[13]. Гидротехнические показатели состояния окружающей среды: справочные материалы / [Я. П. Молчанова, И. А. Заика, Э. И. Бабкина та ін.]. – М.: Форум: ИНФРА, 2007. – 192 с.

[14]. Удод В.М. Комплексные критерии экологической оценки эффективности внутриводоемных процессов / В. М. Удод, М. Ю. Яцив // Химия

и технология воды. – 2013. – 35, № 6. – С. 518-532.

[15]. *OECD Environment at a Glance 2015: OECD Indicators*. – Paris: OECD Publishing. – 2015. – P. 32–39. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264235199-en>

[16]. *Сніжко С. І.* Оцінка та прогнозування якості природних вод / С. І. Сніжко. – К.: Ніка-Центр, 2001. – 262 с.

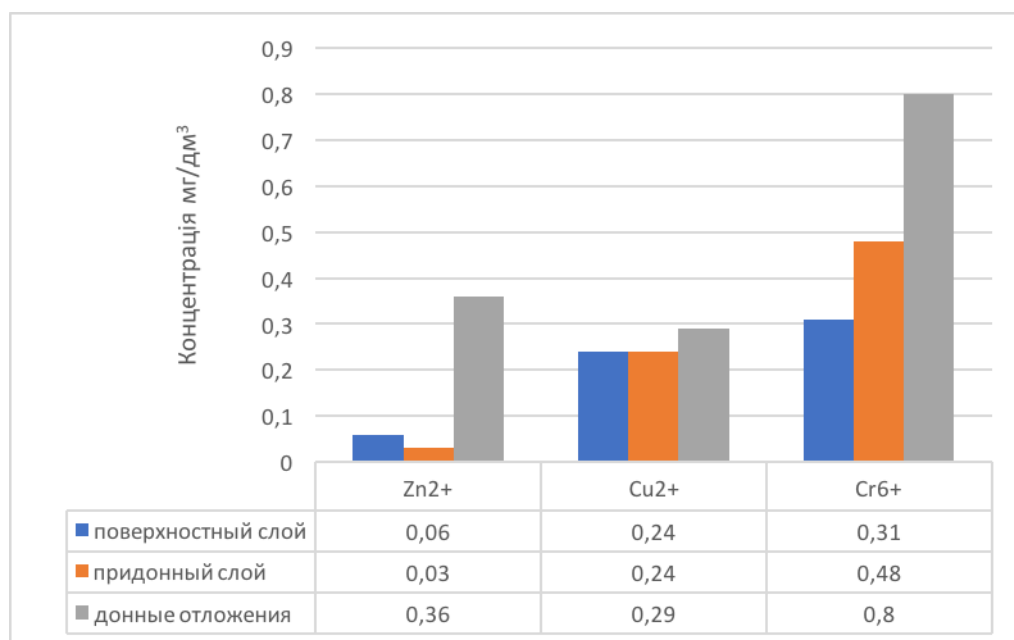


Рис. 1. Гидрохимические показатели содержания ионов (Cu^{2+} , Zn^{2+} , Cr^{6+}) в

ТИВЭ р. Нивка (усреднённые данные).

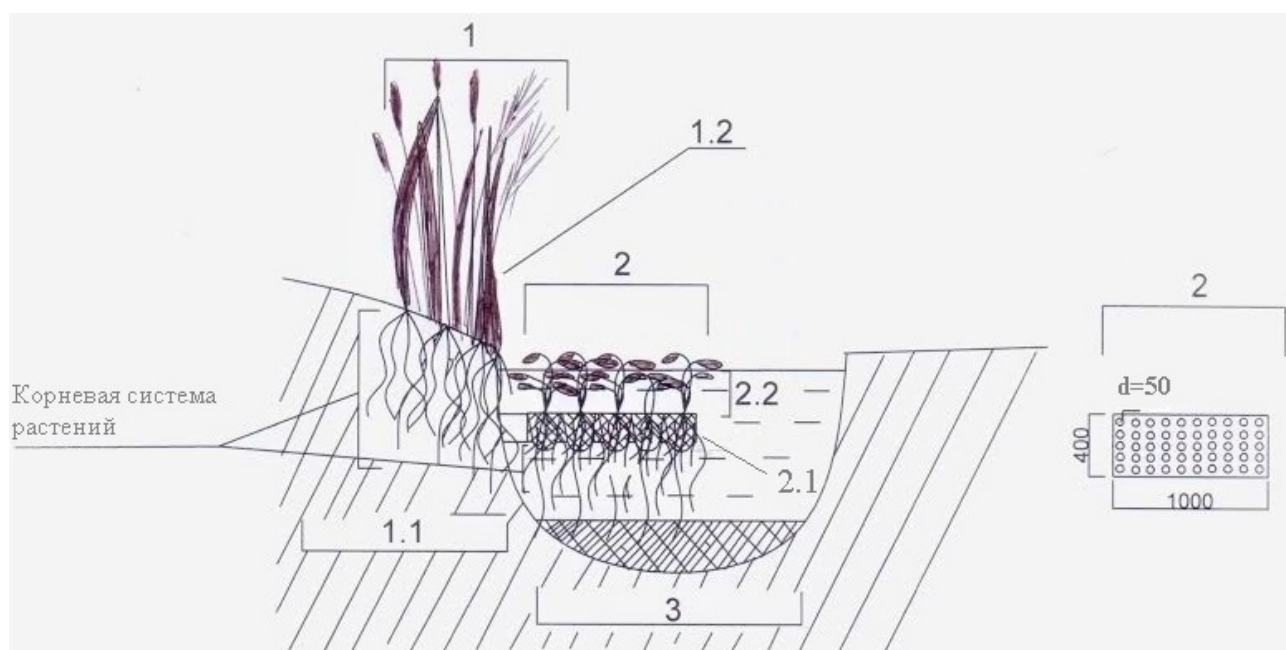


Рис. 2. Комплексная биоинженерная система для очистки малых рек.

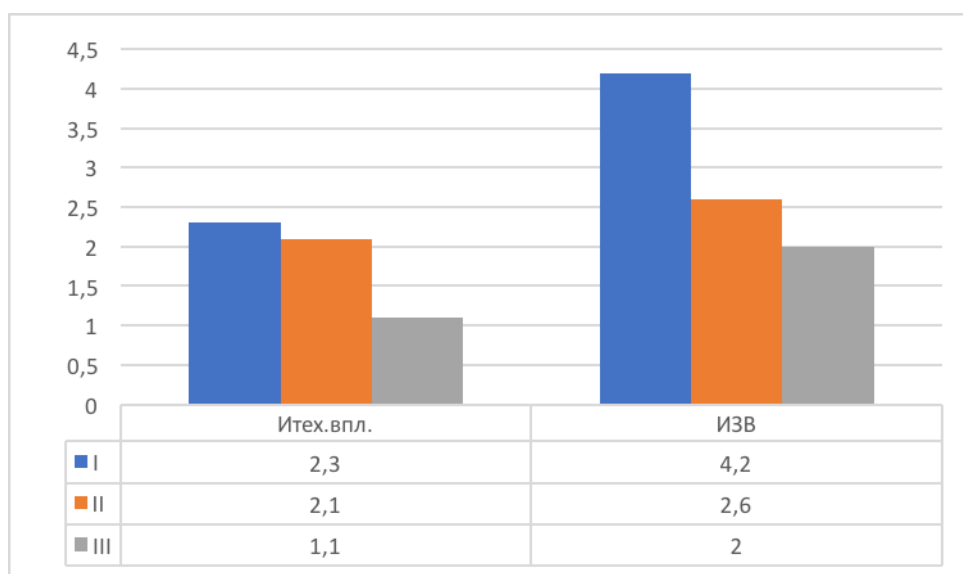


Рис. 3. Значение экологических показателей контроля по трём зонам мониторинга реки.

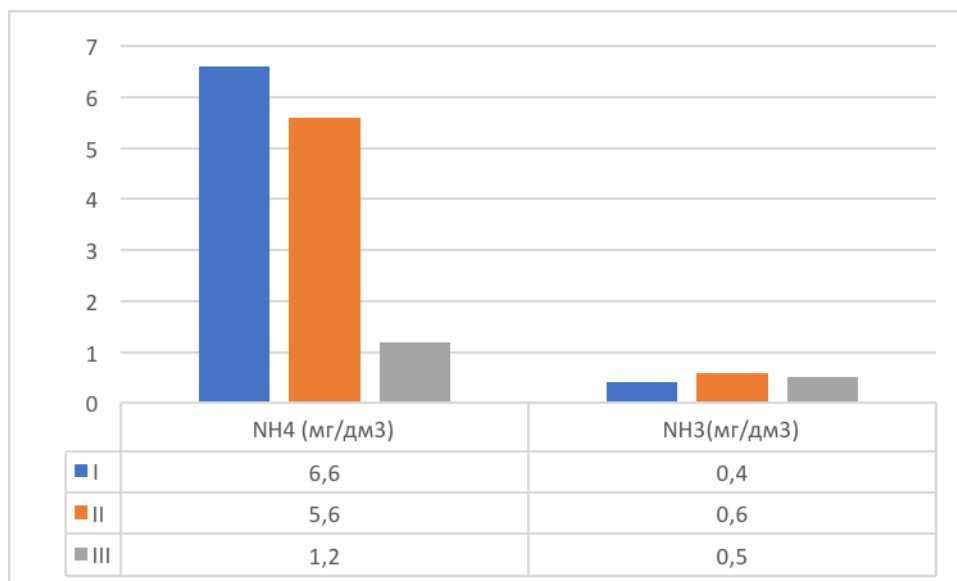


Рис. 4. Значение концентраций NH₃ и NH₄ по трём зонам мониторинга реки.

Михеев Александр Николаевич

Доктор биологических наук, старший научный сотрудник

Институт клеточной биологии и генетической инженерии НАН Украины.

Служебный адрес – ул. Акад. Заболотного, 148, г. Киев, 03143, Украина

Домашний адрес – ул. акад. Вильямса 3а, кв. 149, г. Киев, Украина

Т. р. (044) 257-82-44

E-mail: mikhalex7@yahoo.com

Маджд Светлана Михайловна

Кандидат технических наук, доцент

Национальный авиационный университет

Служебный адрес – пр. Комарова, 1, г. Киев, 03680, Украина

Домашний адрес – ул. Гетьмана Вадима 1В, кв.162А. г. Киев, 03057, Украина

Т. р. (044) 406-78-90

Т. м. (063) 82-77-333

Т. дом. (044) 456-50-85

E-mail: madzhd@i.ua

Писанко Яна Івановна

Аспирант

Национальный авиационный университет

(Автор с которым редакция может вести переписку)

Служебный адрес – пр. Комарова, 1, г. Киев, 03680, Украина

Домашний адрес – ул. Смелянская, 15, кв. 61, г. Киев, Украина

Т. м. (093)53-31-112

E-mail: yanakulynych45@gmail.com

Mikhyeyev Olexandr Mykolayovych. Institute of Cell Biology and Genetic Engineering, National Academy of Science of Ukraine.

Madzhd Svitlana Mychaylivna. National Aviation University.

Pysanko Yana Ivanivna. National Aviation University.